

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-97839

(P 2000-97839 A)

(43) 公開日 平成12年4月7日 (2000. 4. 7)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-コ-ド	(参考)
G01N 13/14		G01N 37/00	D	
G01B 11/30		G01B 11/30	Z	
G11B 7/135		G11B 7/135	Z	
G12B 1/00	601	G12B 1/00	601	C

審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全15頁)

(21) 出願番号 特願平10-283359

(22) 出願日 平成10年9月18日 (1998. 9. 18)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 黒田 亮

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72) 発明者 島田 康弘

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(74) 代理人 100105289

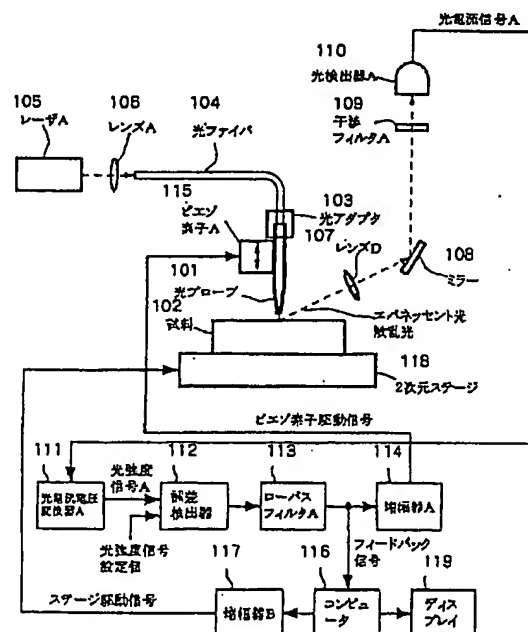
弁理士 長尾 達也

(54) 【発明の名称】 近接場光学顕微鏡

(57) 【要約】

【課題】本発明は、光プローブ-試料間の距離を10nm以上に設定することができ、反射散乱光強度を増大させて検出信号S/N比及び観察像の画質の向上を図ることのできる近接場光学顕微鏡を提供することを目的としている。

【解決手段】本発明は、先端に微小開口を有する光プローブを備え、該微小開口を試料表面に近接させて対向するように配置し、該試料表面と該光プローブとを該試料の面内方向に相対的に2次元走査し、光源から入射された光によって該光プローブの微小開口から該試料表面側にエバネッセント光を発生させ、該エバネッセント光の散乱光の強度を光検出手段によって検出して、該試料表面を観察する近接場光学顕微鏡であって、該試料表面と該光プローブとの間の距離を調整する距離調整手段と、該散乱光が該プローブ先端および該試料によって遮られることにより減少する散乱光強度を一定にするように該距離調整手段を制御するフィードバック制御手段と、を有することを特徴とするものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】先端に微小開口を有する光プローブを備え、該微小開口を試料表面に近接させて対向するように配置し、該試料表面と該光プローブとを該試料の面内方向に相対的に2次元走査し、光源から入射された光によって該光プローブの微小開口から該試料表面側にエバネッセント光を発生させ、該エバネッセント光の散乱光の強度を光検出手段によって検出して、該試料表面を観察する近接場光学顕微鏡であって、

該試料表面と該光プローブとの間の距離を調整する距離調整手段と、

該散乱光が該プローブ先端および該試料によって遮られることにより減少する散乱光強度を一定にするように該距離調整手段を制御するフィードバック制御手段と、を有することを特徴とする近接場光学顕微鏡。

【請求項2】前記距離調整手段は、光プローブと試料表面との間の距離制御を100nm以下の領域内で行う距離調整手段であることを特徴とする請求項1に記載の近接場光学顕微鏡。

【請求項3】前記散乱光強度に変調成分を重畳させるため前記光プローブと前記試料との距離を高速変調する高速変調手段と、

該高速変調による前記散乱光強度の変調成分の大きさから該試料表面の形状情報と反射率情報とを分離する形状・反射率情報分離手段と、

を有することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の近接場光学顕微鏡。

【請求項4】前記光源が互いに波長の異なる複数の光を発生する光源によって構成されるとともに、前記光検出手段が複数の光検出手段によって構成され、

該光源によるエバネッセント光の波長の異なる複数の散乱光を分離する光波長分離手段と、

該波長分離手段によって分離された該複数の散乱光の強度を、該複数の光検出手段によってそれぞれ独立に検出し、該独立に検出された散乱光の強度に基づいて該試料表面の色情報を分離する色情報分離手段と、

を有することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の近接場光学顕微鏡。

【請求項5】前記光検出手段が複数の光検出手段によって構成され、

前記エバネッセント光の散乱光と前記エバネッセント光が試料表面を励起することによって生じる発光を分離する光波長分離手段を有し、

該光波長分離手段により分離された該エバネッセント光の散乱光と該発光の強度を、該複数の光検出手段によってそれぞれ独立に検出することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の近接場光学顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は試料表面の形状・光

学情報をナノメートルの分解能で観察可能な顕微鏡装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、STM（走査型トンネル顕微鏡）やAFM（原子間力顕微鏡）に代表されるSPM（走査型プローブ顕微鏡）技術の進展により、先端を尖らせたプローブを試料に対して100nm以下の距離まで近づけることにより、顕微鏡としての分解能を飛躍的に向上させることが可能となり、原子や分子サイズのことを観察できるようになった。光に関してもSPMのファミリーとして、尖鋭な光プローブ先端の微小開口からしみ出すエバネッセント光を利用して試料表面状態を調べる近接場光学顕微鏡（以下SNOMと略す）[EPO112401, Durig他, J. Appl. Phys. vol. 59, p. 3318 (1986)]や、試料裏面からプリズムを介して全反射の条件で光を入射させ、試料表面へしみ出すエバネッセント光を試料表面から光プローブで検出して試料表面を調べるフォトンSTM（以下PSTMと略す）[Reddick他, Phys. Rev. B vol. 39, p. 767 (1989)]も開発された。上記SNOMを用いることにより、100nm以下の微小な領域にアクセスし、光学的情報を検出することができる。SNOMを用いて不透明試料を観察する場合、微小開口を有する光プローブからしみ出すエバネッセント光を試料のおもて面側から照射し、試料からの反射散乱光を光プローブを通さずに直接、光検出器で斜め方向から検出する反射型斜方向光検出構成をとることが多い。これは、試料からの反射散乱光を再度光プローブの微小開口を通すと、光強度がきわめて低下するためである。

【0003】さて、上述の反射型斜方向光検出構成のSNOMにおいて、微小開口からしみ出すエバネッセント光の強度は開口からの距離に対して指数関数的に減少するので、試料表面に対して光プローブ先端を100nm以下の距離に近づいた状態で一定の距離に保つように制御を行う必要がある。このための距離制御方式として、

(1) 試料面の法線方向と垂直な方向に光プローブを微小振動させ、光プローブ先端が試料表面から受けるファンデルワールス力による振動振幅の減少を一定するように距離制御を行うシアーフォース方式、(2) 光プローブ及び試料が導電性を有する場合に、両者の間に電圧を印加し、間に流れるトンネル電流の大きさが一定になるように距離制御を行うSTM方式、(3) 光プローブを試料面の法線方向に弾性変形可能な弾性体で支持し、光プローブ先端と試料表面との間に作用するファンデルワールス力により生じる弾性体の弾性変形量が一定になるように距離制御を行うAFM方式、等が用いられることが多い。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上述の反射型斜方向光

検出構成のSNOMにおいて、検出空間分解能を向上させるためには、光プローブ先端の微小開口のサイズを小さくすることが有効である。しかしながら、このようなSNOMにおいては、サイズが小さくなるにつれて、微小開口から滲み出すエバネッセント光の強度が小さくなるので、反射散乱光強度も小さくなり、検出信号S/N比が低下し、SNOM観察像の画質が劣化する。そのため、反射散乱光強度を増大させるには、光プローブと試料間の距離を10nm以上に設定することが有効であるが、上述した従来の距離制御方式のものにおいては、い

【0005】そこで、本発明は、光プローブと試料間の距離を10nm以上に設定することができ、反射散乱光強度を増大させて検出信号S/N比及び観察像の画質の向上を図ることのできる近接場光学顕微鏡を提供することを目的としている。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を達成するために、近接場光学顕微鏡をつぎのように構成したことを特徴とするものである。すなわち、本発明の近接場光学顕微鏡は、先端に微小開口を有する光プローブを備え、該微小開口を試料表面に近接させて対向するように配置し、該試料表面と該光プローブとを該試料の面内方向に相対的に2次元走査し、光源から入射された光によって該光プローブの微小開口から該試料表面側にエバネッセント光を発生させ、該エバネッセント光の散乱光の強度を光検出手段によって検出して、該試料表面を観察する近接場光学顕微鏡であって、該試料表面と該光プローブとの間の距離を調整する距離調整手段と、該散乱光が該プローブ先端および該試料によって遮られることにより減少する散乱光強度を一定にするように該距離調整手段を制御するフィードバック制御手段と、を有することを特徴としている。また、本発明の近接場光学顕微鏡は、前記距離調整手段は、光プローブと試料表面との間の距離制御を100nm以下の領域内で行う距離調整手段であることを特徴としている。また、本発明の近接場光学顕微鏡は、前記散乱光強度に変調成分を重畳させるため前記光プローブと前記試料との距離を高速変調する高速変調手段と、該高速変調による前記散乱光強度の変調成分の大きさから該試料表面の形状情報と反射率情報とを分離する形状・反射率情報分離手段と、を有することを特徴としている。また、本発明の近接場光学顕微鏡は、前記光源が互いに波長の異なる複数の光を発生する光源によって構成されるとともに、前記光検出手段が複数の光検出手段によって構成され、該光源によるエバネッセント光の波長の異なる複数の散乱光を分離する光波長分離手段と、該波長分離手段によって分離された該複数の散乱光の強度を、該複数の光検出手段によって

それぞれ独立に検出し、該独立に検出された散乱光の強度に基づいて該試料表面の色情報を分離する色情報分離手段と、を有することを特徴としている。また、本発明の近接場光学顕微鏡は、前記光検出手段が複数の光検出手段によって構成され、前記エバネッセント光の散乱光と前記エバネッセント光が試料表面を励起することによって生じる発光を分離する光波長分離手段を有し、該光波長分離手段により分離された該エバネッセント光の散乱光と該発光の強度を、該複数の光検出手段によってそれぞれ独立に検出することを特徴としている。

【0007】

【発明の実施の形態】本発明は、上記した試料表面と該光プローブとの間の距離を調整する距離調整手段と、該散乱光が該プローブ先端および該試料によって遮られることにより減少する散乱光強度を一定にするように該距離調整手段を制御するフィードバック制御手段とによって、光プローブ先端の微小開口から滲み出すエバネッセント光の散乱光強度が所定値より大きい場合は、試料に対して光プローブを近づけ、逆に所定値より小さい場合は、試料に対して光プローブを遠ざけるように光プローブと試料間の距離制御を行うことにより、光プローブと試料間の距離を10nm以上に設定することが可能となり、これによって反射散乱光強度を増大させることができ、検出信号S/N比を向上させ、SNOM観察像の画質を向上させることができる。また、本発明においては、高速変調手段によって散乱光強度に変調成分を重畳させ、形状・反射率情報分離手段によってこの変調成分の大きさから試料表面の形状情報と反射率情報とを分離するように構成して、形状情報と反射率情報とを分離した観察像を得るようにすることができる。また、本発明においては、波長分離手段によって分離されたエバネッセント光の波長の異なる複数の散乱光の強度を、複数の光検出手段によってそれぞれ独立に検出し、色情報分離手段によって該独立に検出された散乱光の強度に基づいて試料表面の色情報を分離するように構成して、色情報を分離した観察像を得るようにすることができる。また、本発明においては、光波長分離手段によってエバネッセント光の散乱光とエバネッセント光が試料表面を励起することによって生じる発光の強度を分離し、それらを複数の光検出手段によってそれぞれ独立に検出するように構成して、微弱な発光部分の観察像を得ようにすることができる。

【0008】

【実施例】以下に、本発明の実施例について説明する。

【実施例1】図1は本発明の近接場光学顕微鏡の実施例1の装置構成を示す図面である。図1において、先端に100nm以下のサイズの微小な開口を有する光プローブ101が試料102表面に対して100nm以下の距離まで近づけられている。光プローブ101にはピエゾ素子A115が取り付けられ、試料102に対する光プ

ロープ101の距離を制御できるようになっている。光プローブ101の他端には、光アダプタ103を介して光ファイバ104が接続されており、レーザA105から出射されるレーザ光がレンズA106を通して光ファイバ104内に導入されている。

【0009】光プローブ101先端の微小開口から滲み出るエバネッセント光の散乱光をレンズD107を用いて集光し、ミラー108を介して干渉フィルタA109を通して光検出器A110で検出する。光プローブ101先端の微小開口から滲み出るエバネッセント光が散乱される様子の詳細を図2に示す。図2において、201は光プローブ、202は入射レーザ光208を遮光するための厚さ100nm程度の金属コーティング膜、203は光プローブ201先端部分のみ金属コーティング膜202が存在しないようにするか、あるいは、厚さを30nm以下と薄くすることによって設けた微小開口、204は試料、205はエバネッセント光、206はエバネッセント光の散乱光、207は光検出器である。

【0010】ここで、光プローブ101は次のように作製する。例えば、局所的に加熱した状態で延伸し切断したり、フッ酸緩衝液を用いて化学エッチングを行ったりして光ファイバの一端を尖鋭化する。これを回転させながら横方向から遮光用の金属コーティングを行なって先端にコーティングの薄い、または、コーティングがなされないようにして微小開口を設けてもよいし、全体に金属コーティング202を行った後、表面張力を利用して先端のみ膜厚が薄くなるようアクリル樹脂等でコーティングを行ったのち、金属コーティングのエッチングを行うことによって微小開口を設けてもよい。微小開口203のサイズが100nm以下と光波長よりも小さい場合、入射レーザ光208が微小開口203を直接通り抜けることはほとんどないが、微小開口203から距離が300nm程度以下の近傍にはエバネッセント光205として滲み出している。このエバネッセント光205の強度は微小開口203からの距離に対して指数関数的に減衰する性質を有するため、微小開口203に近傍のみ局在するきわめて絞られた光のプローブとみなすことができる。

【0011】図2に示すように、微小開口203から滲み出たエバネッセント光205は、光プローブ201先端で散乱されて伝搬光に変換され、光検出器207に向かう直接散乱光209と、いったん試料204表面で反射・散乱されて伝搬光に変換され、光検出器207に向かう反射散乱光210とが合成された散乱光206として光検出器207で検出される。反射散乱光210の強度やスペクトルには、試料204表面の局所的な凹凸構造や反射・吸収に関する性質が含まれるため、これを検出することにより、試料204表面の波長以下の微小領域の形状情報や光学情報を得ることができる。光検出器207には直接散乱光209と反射散乱光210とが合

成されて入射する。

【0012】試料204に対する光プローブ201の距離を変化させたときの光検出器207の検出光強度信号の大きさが変化する様子を図3に示す。距離 z が大きい場合は、図3中のA→B点に示すように検出光強度信号は、ほぼ一定値を示し、直接散乱光と反射散乱光の干渉による周期的変動が重畳した信号となる。この干渉の周期は、用いる光波長および装置配置、すなわち試料面に対する光検出方向の角度(図2中の θ)および集光のためのレンズD(図1中の107)の開口径で異なるものであるが、だいたい用いているレーザ光の波長のオーダーとなる。

【0013】光プローブと試料の距離が近づき、 $z < z_n$ ($z_n \sim 300\text{nm}$)の近接場領域では、試料面が微小開口から滲み出すエバネッセント光強度の大きい領域に入るため、試料面による反射散乱光強度が増大し、B→C→D点に示すように検出光強度信号がいったん増大し、極大値(D点)を取る。さらに距離が100nm以下まで近づくと($z < 100\text{nm}$)、光検出器から見て、光プローブと試料によって散乱光が遮られるため、D→E→F→G点に示すように検出光強度が急激に減少する。F→G点は、図4に示すように光プローブ401と試料402との距離が0(接触点:G点)に近づき、試料401表面によって微小開口403がほとんど塞がれ、散乱光の大半が遮られている状態である。

【0014】本発明は、図3のD→E→F→G点に示すように、光プローブが試料表面に対して近づく場合に検出光強度が減少し、逆に遠ざかる場合に検出光強度が増大するような、距離が100nm以下の領域内で、光プローブと試料表面との間の距離制御を行うことを特徴としている。この距離制御の詳細を図1を用いて説明する。エバネッセント光散乱光を検出した光検出器A110の光電流信号Aを光電流電圧変換器A111で光強度信号Aに変換し、誤差検出器112に入力する。誤差検出器112において、光強度信号Aを一定に保つために、所定の光強度に対応した光強度信号設定値との差を算出する。この結果をローパスフィルタA113に入力して高周波数成分をカットした出力信号をフィードバック信号として、増幅器A114で増幅後、ピエゾ素子駆動信号として、ピエゾ素子A115に印加する。このフィードバック信号は、光プローブ先端および試料表面から散乱されるエバネッセント光散乱光の大きさを一定にするように光プローブと試料表面との間の距離を一定に保つためにピエゾ素子Aを駆動する信号であるため、光プローブ先端が位置する試料表面の局所的な凹凸構造等の形状情報や反射・吸収等の光学情報を反映したものとなる。

【0015】ここで、この駆動信号の極性は、光強度信号Aが光強度信号設定値より大きい場合には、試料102に対して光プローブ101を近づける方向にピエゾ素

子A115を駆動し、光強度信号Aが光強度信号設定値より小さい場合には、試料102に対して光プローブ101を遠ざける方向にピエゾ素子A115を駆動するように設定する。以上説明したようなフィードバック制御を行うことにより、光プローブ101と試料102との距離を一定に保つことが可能となる。ここで、はじめに試料102に対して遠く（図3におけるA→B点、 $z > z_n$ ）から光プローブ101を近づけていくとき、誤差検出器112における光強度信号設定値としては、遠く（A→B点、 $z > z_n$ ）からD点（ $z \sim 100 \text{ nm}$ ）まで距離を近づけていく間に光強度が最小となるC点に対応する光強度より小さい光強度（例えば、図3におけるE点の光強度）に対応した設定値を選択する。これは、 $z < 100 \text{ nm}$ の領域でフィードバック制御が行われるようにするためである。

【0016】上記のような手順により、 $z < 100 \text{ nm}$ の領域でフィードバック制御が行われている状態で、次に、誤差検出器112に入力する光強度信号設定値を変化させると、D～E～F～G点の間で自由に光強度信号の大きさを変化させることができ、この光強度信号の大きさに対応した距離（ $z < 100 \text{ nm}$ ）に自由に光プローブと試料との間の距離を一定に保つことができる。はじめに試料に対して遠く（A→B点、 $z > z_n$ ）から光プローブを近づけていくとき、光強度信号設定値として、C点に対応する光強度より大きい光強度（例えば、B'点の光強度）を選択すると、試料に対して光プローブを近づけていくとき、 $z < 100 \text{ nm}$ の領域の点（B'点）ではなく、 $z > 100 \text{ nm}$ の領域の点（B点）でフィードバック制御が行われてしまうため、光プローブと試料との距離が大きくなってしまい、近接場光学顕微鏡としての横分解能が低下してしまうので好ましくない。

【0017】さて、上記に説明したような方法で、光プローブと試料との間の距離制御を行った状態で、ローパスフィルタA113からの出力されるフィードバック信号をコンピュータ116に入力する。コンピュータ116から増幅器B117を通して、ステージ駆動信号を試料102を取り付けた2次元ステージ118に印加し、光プローブ101に対する試料102の2次元相対走査を行う。コンピュータ116では、2次元走査中の試料102に対する光プローブ101の各位置におけるフィードバック信号の大きさをマッピングし、試料表面の近接場光学顕微鏡像として、ディスプレイ119に表示する。

【0018】【実施例2】図5は本発明の近接場光学顕微鏡の実施例2の装置構成を示す図面である。図5において、装置の基本構成及び動作は実施例1とほぼ同じである。実施例2に特有の構成として、光プローブ101に対し、第1のピエゾ素子A115に加えて、第2のピエゾ素子B501が取り付けられている。発振器502

から出力される変調信号を増幅器C503で増幅後、距離変調信号としてピエゾ素子B501に印加し、光プローブ101と試料102との間の距離を高速に変調する。この距離変調により、光プローブ101先端及び試料102表面から散乱されるエバネッセント光散乱光には距離変調と同じ周波数の光強度変調が加わる。光電流電圧変換器A111から出力される光強度信号AをローパスフィルタB504及びハイパスフィルタ505に入力する。ローパスフィルタB504において、上記の高速変調成分を取り除いた低周波数成分を誤差検出器112に入力し、以降、実施例1と同様の光プローブ101と試料102との間の距離制御を行う。また、ハイパスフィルタ505において、上記の高速変調成分のみ取り出し、同期検出器506に入力し、発振器502からの変調信号を参照信号として同期検出を行い、高速変調成分の振幅を出力する。この変調成分振幅信号及びローパスフィルタA113から出力されるフィードバック信号を形状・反射率情報分離器507に入力し、形状情報信号及び反射率情報信号に分離し、この結果をコンピュータ116に入力する。コンピュータ116では、2次元走査中の試料102に対する光プローブ101の各位置における形状情報信号及び反射率情報信号の大きさをマッピングし、試料表面の近接場光学顕微鏡像として、ディスプレイ119に表示する。

【0019】上記の形状情報信号及び反射率情報信号の分離の原理及び、図5の各部分における信号波形を図6及び図7を用いて説明する。実施例1で説明した光プローブと試料間の距離制御方法を用いた場合の試料102表面に対する光プローブ101走査時の光プローブ先端の軌跡を図6aに示す。図に示すように試料102表面には凸部分601、凹部分602、高反射率部分603、低反射率部分604が含まれているとする。図6aに示すように、実施例1で説明した距離制御方法では、凸部分601と低反射率部分604では試料102に対して光プローブ101が離れる方向に制御が行われ、凹部分602と高反射率部分603では試料102に対して光プローブ101が近づく方向に制御が行われる。このため、フィードバック信号だけでは、形状情報と反射率情報とを分離することができない。そこで、図5で説明した距離制御を行うと、図6bに示すように、光プローブ101と試料102との距離が高速に変調された状態で試料102表面に対する光プローブ101走査が行われる。

【0020】フィードバック信号波形を図6c、距離変調信号を図6dに示す。このとき、ハイパスフィルタ505から出力される光強度信号Aの高速変調成分波形は、図6eのように凸部分や凹部分では変調成分の振幅が変化しないのに対し、高反射率部分では振幅が増大し、低反射率部分では振幅が減少する。これは、図7に示すように、光プローブと試料表面との間の距離に対す

る同一振幅の変調に対し、反射率の異なる部分では検出光強度信号に加わる変調振幅が異なるためである。例えば、高反射率部分では、光強度信号変調振幅(A)が大きいのに比べ、低反射率部分では光強度信号変調振幅(C)が小さくなっている。

【0021】ここで、図7は、反射率の異なる部分における光プローブと試料表面との間の距離に対する検出光強度信号の大きさを示す。図7における横軸の距離範囲は、図3におけるG~F~E~D ($z < 100 \text{ nm}$)の部分に対応しており、光プローブと試料表面との間の距離に対する検出光強度信号がほぼ直線状の特性を有している部分を抽出している。このとき同期検出器506の出力波形は図6fに示したものとなり、これが表面の反射率情報を表わしている。さて、形状・反射率情報分離器507において、フィードバック信号(図6c)に対し、同期検出器506出力信号(図6f)を所定の係数を乗じて加算することにより、形状情報信号(図6g)が得られる。ここで、所定の係数の大きさは、あらかじめ形状・反射率情報がわかっている標準試料を測定することにより求めるようにする。以上説明したように、光プローブと試料表面との間の距離に高速変調を加えて光強度信号に重畳させた変調成分を同期検出で分離することにより、フィードバック信号から形状情報と反射率情報を分離することができ、近接場光学顕微鏡像において、形状情報と反射率情報を分離した像を得ることができた。

【0022】【実施例3】図8は本発明の近接場光学顕微鏡の実施例3の装置構成を示す図面である。図8において、装置の基本構成及び動作は実施例1とほぼ同じである。実施例3に特有の構成として、光プローブ101に光を入射させるためのレーザとして、レーザA105以外に、レーザB801、レーザC802を加える。ここで、レーザA(105)、B(801)、C(802)は互いに光波長が異なるものとする。例えば、レーザAとして波長635nmの赤色半導体レーザ、レーザBとして波長532nmの半導体レーザ励起の固体レーザ、レーザCとして波長410nmの青色半導体レーザを用いれば、後述するようにRGB3色における分光測定が可能となる。レーザA105、レーザB801、レーザC802からの出射光をそれぞれ、レンズA106、レンズB803、レンズC804を通して3×1の光カプラ814に入射させる。光カプラ814の他端は光アダプタ103を介して光プローブ101に接続されており、光プローブ101に複数の波長の光が入射されている。光プローブ101先端および試料102表面から散乱されるエバネッセント光散乱光は、ビームスプリッタA805およびB806によって3分割され、それぞれ、レーザA105の波長の干渉フィルタA109、レーザB801の波長の干渉フィルタB807、レーザC802の波長の干渉フィルタC808を通して、光検

出器A110、光検出器B809、光検出器C810で検出される。

【0023】光検出器A110、光検出器B809、光検出器C810からそれぞれ出力される光電流信号A、光電流信号B、光電流信号Cはそれぞれ光電流電圧変換器A111、光電流電圧変換器B811、光電流電圧変換器C812に入力され、光強度信号A、光強度信号B、光強度信号Cに変換される。このうち、光強度信号Aは誤差検出器112に入力され、以降、実施例1と同様の光プローブ101と試料102との間の距離制御を行う。光強度信号B、光強度信号Cは色情報分離器813に入力され、ローパスフィルタA113から出力されるフィードバック信号と合わせて、レーザA105の波長における反射率を表す色情報信号A、レーザB801の波長における反射率を表す色情報信号B、レーザC802の波長における反射率を表す色情報信号Cに分離し、この結果をコンピュータ116に入力する。コンピュータ116では、2次元走査中の試料102に対する光プローブ101の各位置における各色情報信号A、B、Cの大きさをマッピングし、試料表面の近接場光学顕微鏡像として、ディスプレイ119に表示する。

【0024】上記の各色情報信号の分離の原理及び、図8の各部分における信号波形を図9を用いて説明する。実施例1で説明した光プローブと試料間の距離制御方法を用いた場合の試料102表面に対する光プローブ101走査時の光プローブ先端の軌跡を図9aに示す。図に示すように試料102表面には高反射率部分901、低反射率部分902、色の異なる部分A903、色の異なる部分B904が含まれているとする。ここで、高反射率部分901と低反射率部分902は、レーザA(105)、B(801)、C(802)の各光波長に対して同じ比率で反射率が異なる部分であるとする。また、色の異なる部分A903はレーザAおよびレーザBの光波長に対して反射率が低く(レーザCの光波長に対しては反射率が普通)、色の異なる部分B904はレーザBの光波長に対して反射率が低く、レーザCの光波長に対しては反射率が高い(レーザAの光波長に対しては反射率が普通)ものとする。

【0025】図9aに示すように、実施例1で説明した距離制御方法において、距離制御にレーザAの波長の光を用いた場合、高反射率部分901では試料102に対して光プローブ101が近づく方向に制御が行われ、レーザAの波長の光に対して低い反射率を示す低反射率部分902と色の異なる部分A903では試料102に対して光プローブ101が遠ざかる方向に制御が行われ、色の異なる部分B904では両者の中間の制御が行われる。このため、フィードバック信号だけでは、色情報を分離することができない。そこで、図8で説明した距離制御および信号検出を行ない、このときのフィードバック信号波形を図9b、光強度信号Bを図9c、光強度

信号Cを図9dに示す。さて、色情報分離器813において、フィードバック信号(図9b)を反転させて色情報信号A(図9e)を得る。さらに、光強度信号B(図9c)、光強度信号C(図9d)からフィードバック信号(図9b)をそれぞれ所定の係数を乗じて減算することにより、色情報信号B(図9f)、色情報信号C(図9g)が得られる。ここで、所定の係数の大きさは、あらかじめ色情報がわかっている標準試料を測定することにより求めるようにする。以上説明したように、異なる波長の複数の光に対してエバネッセント光散乱光強度をそれぞれ独立に検出し、そのうちの一つの波長の光強度を一定にするように制御を行なうことにより、そのフィードバック信号と他の波長の光強度信号とから色情報信号を分離することができ、近接場光学顕微鏡像において、色情報を分離した像を得ることができた。

【0026】【実施例4】図10は本発明の近接場光学顕微鏡の実施例4の装置構成を示す図面である。図10において、装置の基本構成及び動作は実施例1とほぼ同じである。実施例4に特有の構成として、光プローブ101先端から滲み出るエバネッセント光により、試料102表面を局所的に励起した部分からの局所的発光(蛍光や燐光等)を光プローブ101先端や試料102表面からのエバネッセント光散乱光と同時にレンズD107を用いて集光し、ミラー108を介して、ビームスプリッタC1001で2分割し、一方は、レーザA105の波長の干渉フィルタA109を通して光検出器A110で検出され、他方は発光波長に合わせたバンドパスフィルタ1002を通して光検出器D1003で検出される。光検出器A110、光検出器D1003からそれぞれ出力される光電流信号A、光電流信号Dはそれぞれ光電流電圧変換器A111、光電流電圧変換器D1004に入力され、光強度信号A、光強度信号D(発光強度信号)に変換される。このうち、光強度信号Aは誤差検出器112に入力され、以降、実施例1と同様の光プローブ101と試料102との間の距離制御を行う。光強度信号D(発光強度信号)およびローパスフィルタA113から出力されるフィードバック信号をコンピュータ116に入力する。コンピュータ116では、2次元走査中の試料102に対する光プローブ101の各位置におけるフィードバック信号および発光強度信号の大きさをマッピングし、試料表面の近接場光学顕微鏡像として、ディスプレイ119に表示する。

【0027】図10の各部分における信号波形を図11を用いて説明する。実施例1で説明した光プローブと試料間の距離制御方法を用いた場合の試料102表面に対する光プローブ101走査時の光プローブ先端の軌跡を図11aに示す。図に示すように試料102表面は凸部分1102および発光部分1101が含まれているとする。図11aに示すように、実施例1で説明した距離制御方法において、距離制御にレーザAの波長の光を用い

た場合、光プローブ先端の軌跡に示したように凸部分1102では試料102に対して光プローブ101が遠ざかる方向に制御される。

【0028】図10で説明した距離制御および信号検出を行なったときのフィードバック信号波形を図11b、光強度信号D(発光強度信号)を図11cに示す。以上説明したように、励起光のエバネッセント光散乱光強度および局所的発光強度をそれぞれ独立に検出し、前者の光強度を一定にするように制御を行なうことにより、凹凸部分を有し、かつ発光部分と非発光部分が混在した試料においても光プローブと試料との間の距離制御を安定に行うことが可能となり、微弱な発光部分の近接場光学顕微鏡像を得ることができた。

【0029】上記のように、実施例2では、試料表面の形状情報と反射率情報を分離する方法、実施例3では、試料表面の色情報を分離する方法、実施例4では、局所的なエバネッセント光励起による微弱な発光に対して安定な距離制御を行う方法について、別々に示したが、これらをいくつか組み合わせて用いることも本発明の概念に含まれる。また、上記実施例1～実施例4では、近接場光学顕微鏡における光プローブと試料の間の距離制御方法及び、試料表面の形状情報・光学情報等の複数の情報を分離する方法として説明を行ったが、これらは、近接場光学顕微鏡を応用した微細加工装置や情報ストレージ装置にも適用可能である。

【0030】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、上記した距離調整手段と、フィードバック制御手段によって、光プローブ先端の微小開口から滲み出すエバネッセント光の散乱光強度が所定値より大きい場合は、試料に対して光プローブを近づけ、逆に所定値より小さい場合は、試料に対して光プローブを遠ざけるように光プローブ-試料間の距離制御を行うことにより、光プローブ-試料間の距離を10nm以上に設定することが可能となり、これによって反射散乱光強度を増大させることができ、検出信号S/N比を向上させ、SNOM観察像の画質を向上させることができる。また、本発明においては、高速変調手段によって散乱光強度に変調成分を重畳させ、形状・反射率情報分離手段によってこの変調成分の大きさから試料表面の形状情報と反射率情報とを分離するように構成して、形状情報と反射率情報とを分離した観察像を得るようにすることができる。また、本発明においては、波長分離手段によって分離されたエバネッセント光の波長の異なる複数の散乱光の強度を、複数の光検出手段によってそれぞれ独立に検出し、色情報分離手段によって該独立に検出された散乱光の強度に基づいて試料表面の色情報を分離するように構成して、色情報を分離した観察像を得るようにすることができる。また、本発明においては、光波長分離手段によってエバネッセント光の散乱光とエバネッセント光が試料表面を励

起することによって生じる発光の強度を分離し、それらを複数の光検出手段によってそれぞれ独立に検出するように構成して、微弱な発光部分の観察像を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の近接場光学顕微鏡の実施例 1 の装置構成を示す図である。

【図 2】光プローブ先端の微小開口からしみ出すエバネッセント光の散乱の説明図である。

【図 3】光プローブ-試料間距離に対する検出光強度信号の特性図である。

【図 4】光プローブ-試料間距離が 0 に近づき、試料表面により微小開口塞がれて、散乱光が遮られる状態の説明図である。

【図 5】本発明の近接場光学顕微鏡の実施例 2 の装置構成を示す図である。

【図 6】形状・反射率情報分離の原理及び、図 5 の各部分における信号波形を説明する図である。

【図 7】反射率が異なる部分における光プローブ-試料間距離に対する検出光強度信号の特性図である。

【図 8】本発明の近接場光学顕微鏡の実施例 3 の装置構成を示す図である。

【図 9】色情報分離の原理及び、図 8 の各部分における信号波形を説明する図である。

【図 10】本発明の近接場光学顕微鏡の実施例 4 の装置構成を示す図である。

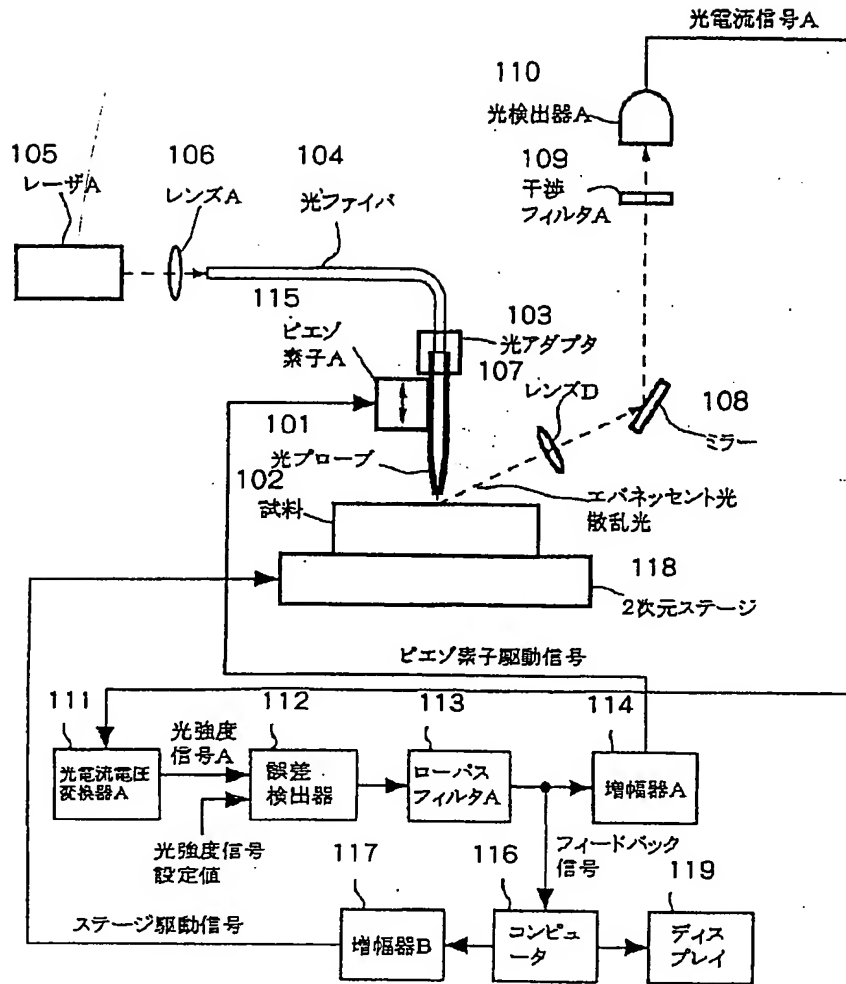
【図 11】図 10 の各部分における信号波形を説明する図である。

【符号の説明】

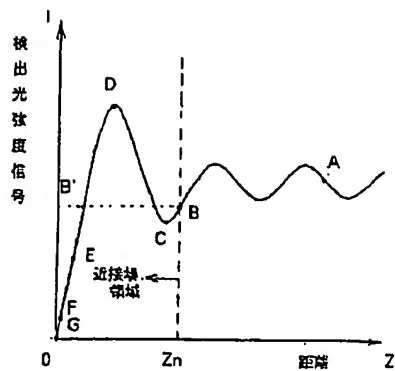
101 : 光プローブ
102 : 試料
103 : 光アダプタ
104 : 光ファイバ
105 : レーザ A
106 : レンズ A
107 : レンズ D
108 : ミラー
109 : 干渉フィルタ A
110 : 光検出器 A
111 : 光電流電圧変換器 A
112 : 誤差検出器
113 : ローパスフィルタ A
114 : 増幅器 A
115 : ピエゾ素子 A
116 : コンピュータ
117 : 増幅器 B
118 : 2 次元ステージ
119 : ディスプレイ

201 : 光プローブ
202 : 金属コーティング膜
203 : 微小開口
204 : 試料
205 : エバネッセント光
206 : エバネッセント光の散乱光
207 : 光検出器
208 : 入射レーザ光
209 : 直接散乱光
210 : 反射散乱光
401 : 光プローブ
402 : 試料
403 : 微小開口
501 : ピエゾ素子 B
502 : 発振器
503 : 増幅器 C
504 : ローパスフィルタ B
505 : ハイパスフィルタ
506 : 同期検出器
507 : 形状・反射率情報分離器
601 : 凸部部分
602 : 凹部分
603 : 高反射率部分
604 : 低反射率部分
801 : レーザ B
802 : レーザ C
803 : レンズ B
804 : レンズ C
805 : ビームスプリッタ A
806 : ビームスプリッタ B
807 : 干渉フィルタ B
808 : 干渉フィルタ C
809 : 光検出器 B
810 : 光検出器 C
811 : 光電流電圧変換器 B
812 : 光電流電圧変換器 C
813 : 色情報分離器
814 : 光カブラ
901 : 高反射率部分
902 : 低反射率部分
903 : 色の異なる部分 A
904 : 色の異なる部分 B
1001 : ビームスプリッタ C
1002 : バンドパスフィルタ
1003 : 光検出器 D
1004 : 光電流電圧変換器 D
1101 : 発光部分
1102 : 凸部分

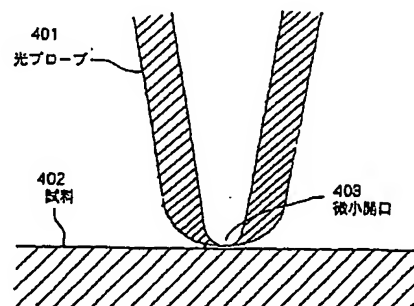
【図1】



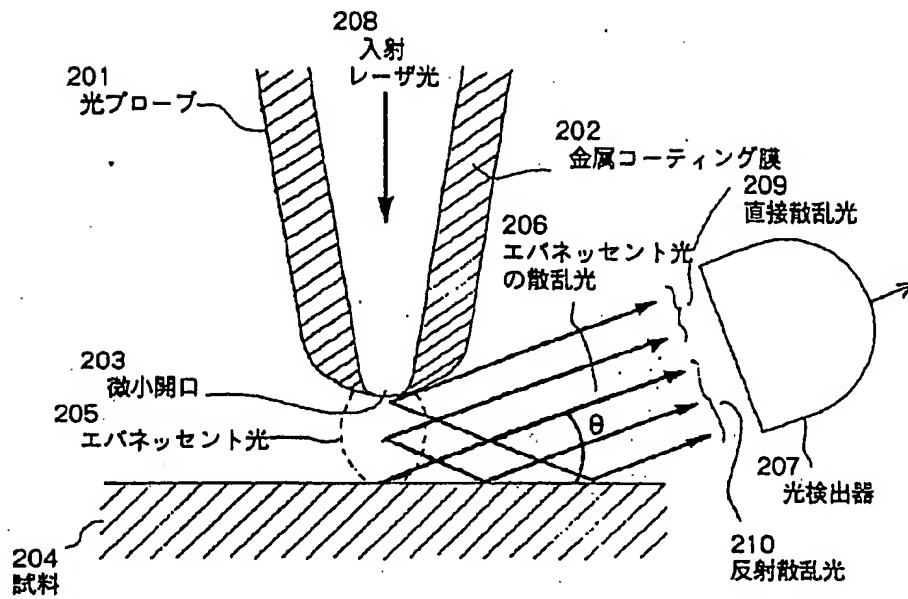
【図3】



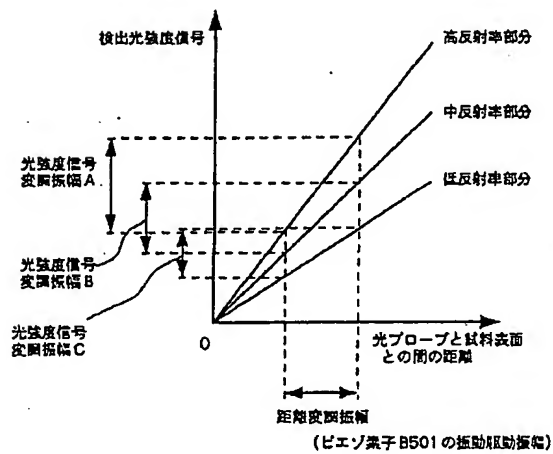
【図4】



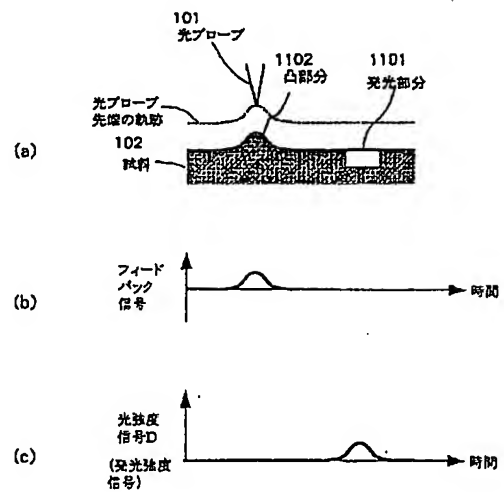
【図 2】



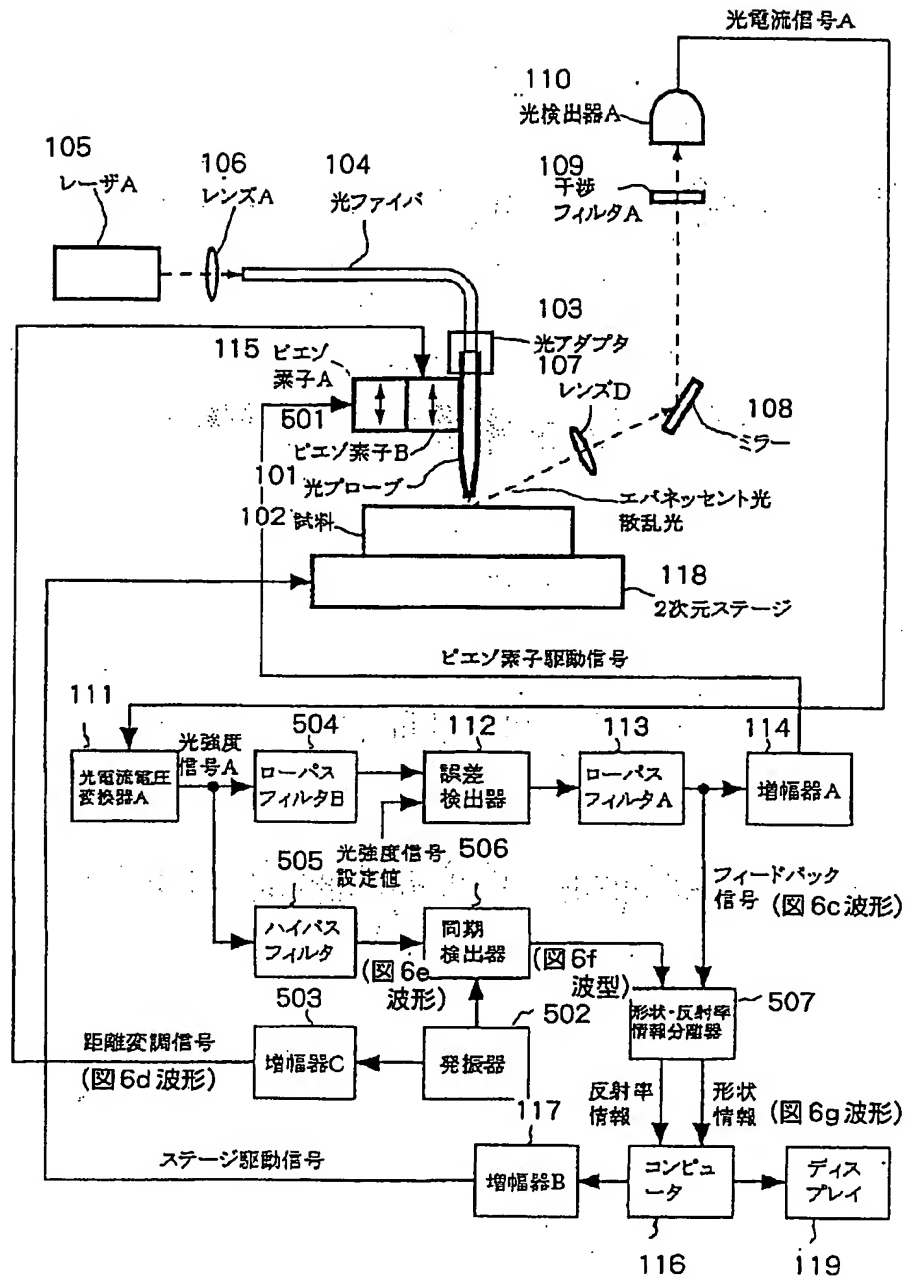
【図 7】



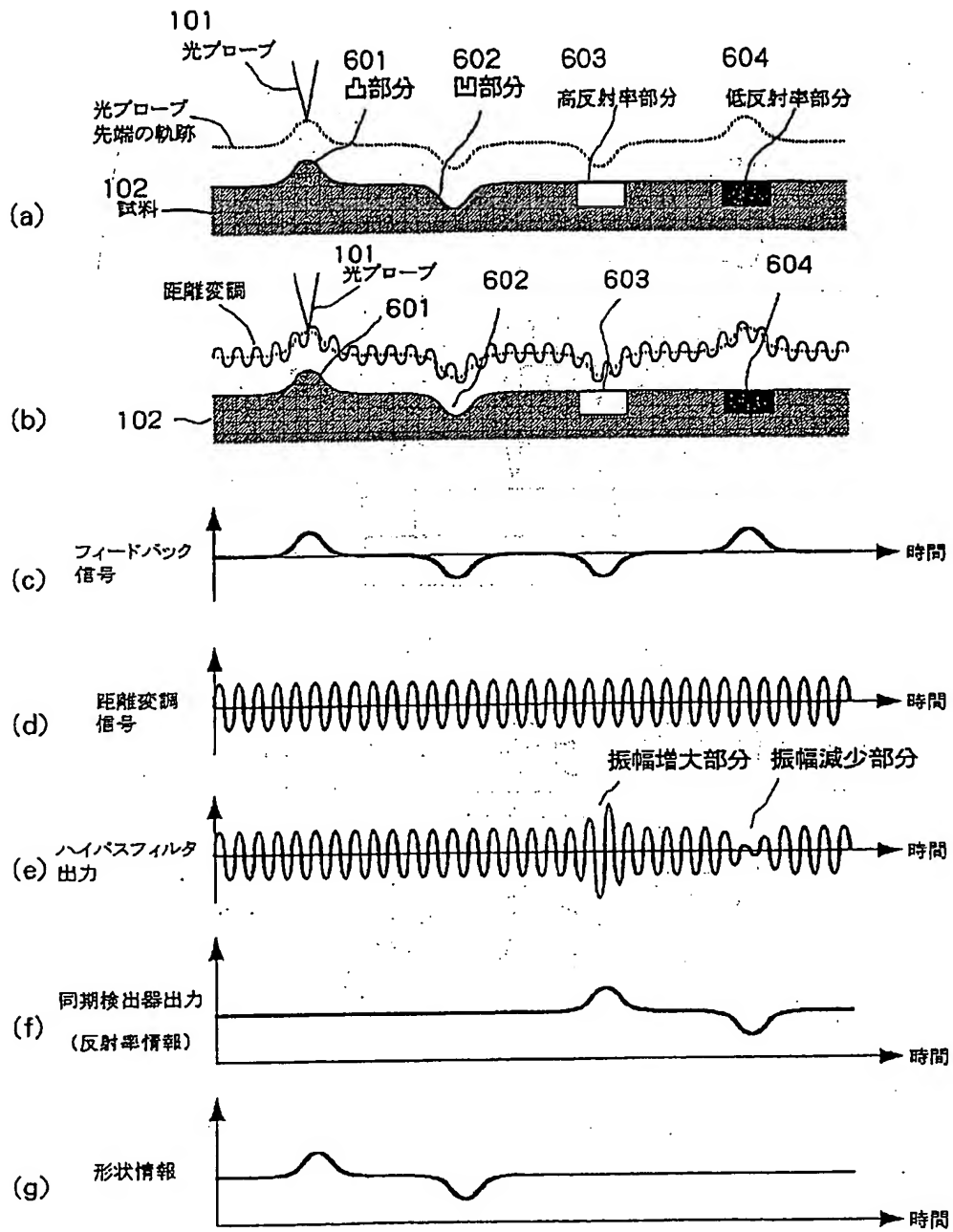
【図 11】



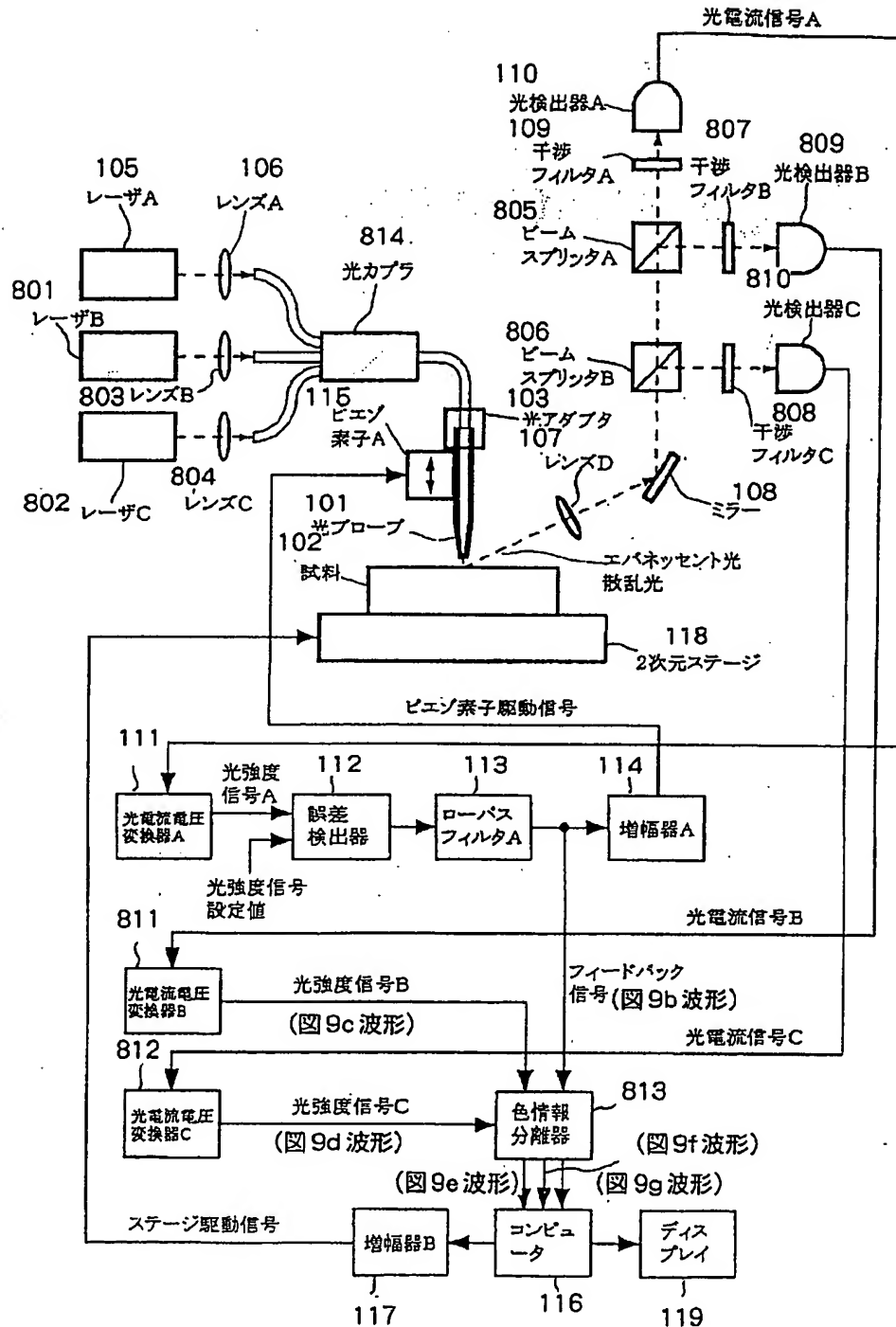
【図5】



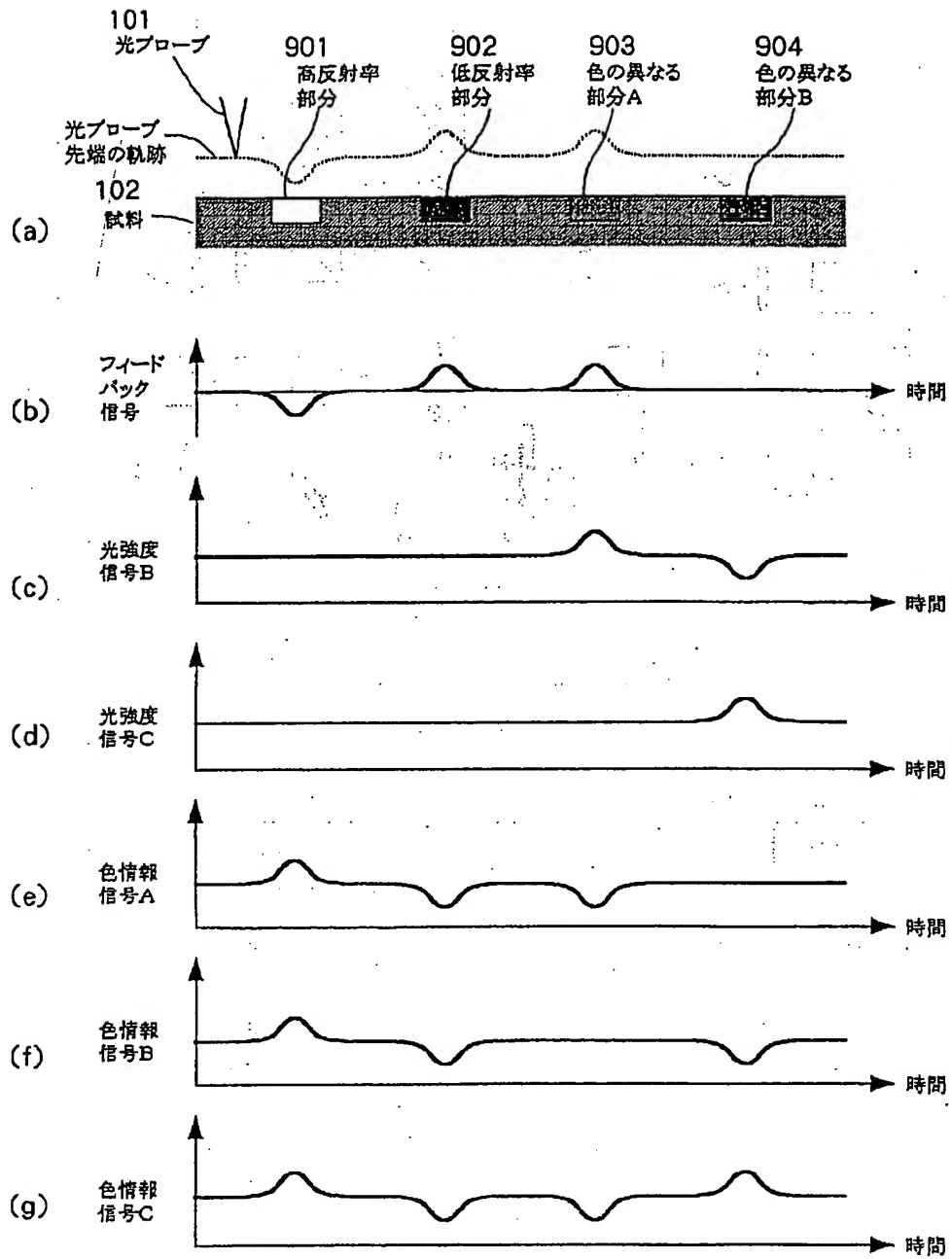
【図 6】



【図8】



【図9】



【圖 10】

